

# **Биомассы и ее виды**

## **Ресурсная база**

## **Характеристики и свойства**

## **биомассы**

Дисциплина: Возобновляемые углеводородные ресурсы и их использование в системах распределенной энергетики

Синельщиков Владимир  
Александрович



**Соотношение между энергоресурсами и современным мировым потреблением энергии**

**Оценка возможностей использования ВИЭ может осуществляться на основе таких понятий как:**

**Валовой потенциал** - энергетический эквивалент полного количества доступной для извлечения энергии.

**Технический потенциал** - часть валового потенциала, которая может быть эффективно использована с применением известных технологий, принимая во внимание социальные и экологические факторы.

**Экономический потенциал** - часть технического потенциала, использование которого экономически оправдано при существующем уровне цен на горючие ископаемые, тепло и электричество, оборудование и материалы, транспорт и рабочую силу.

# Потенциал некоторых видов ВИЭ в РФ

(миллионы тонн условного топлива в год)

	Валовый потенциал	Технический потенциал	Экономический потенциал
Энергия биомассы	10000	53	35
Энергия ветра	26000	2000	10
Солнечная энергия	2300000	2300	12.5
Малая гидроэнергетика	360	125	65

Данные Министерства топлива и энергетики. 2002 г.

По оценкам технический потенциал ВИЭ в 5 раз больше объема потребления ТЭР РФ, а экономический потенциал составляет немногим более 25% собственного энергопотребления.

Росту технического потенциала способствует разработка новых эффективных и экологически безопасных технологий. Экономический потенциал растет за счет подорожания традиционного топлива и удешевления оборудования для возобновляемой энергетики.

$(1 \text{ т.у.т.} = 29.3 \times 10^3 \text{ МДж}; 1 \text{ toe} = 41.868 \times 10^3 \text{ МДж})$

**Технический потенциал** биомассы РФ на 2012г. по разным источникам составлял от 129 млн т.у.т. до 142.3 млн т.у.т.

Общее потребление ТЭР в РФ в 2013г. по данным ФСГС составляло 1070 млн. т.у.т. Таким образом, только за счет биоэнергетических ресурсов **можно обеспечить около 13%**.

Доля биоэнергетики в общем энергетическом балансе

- официальные источники: не превышает 1.5%,
- экспертные оценки: около 6.5%,

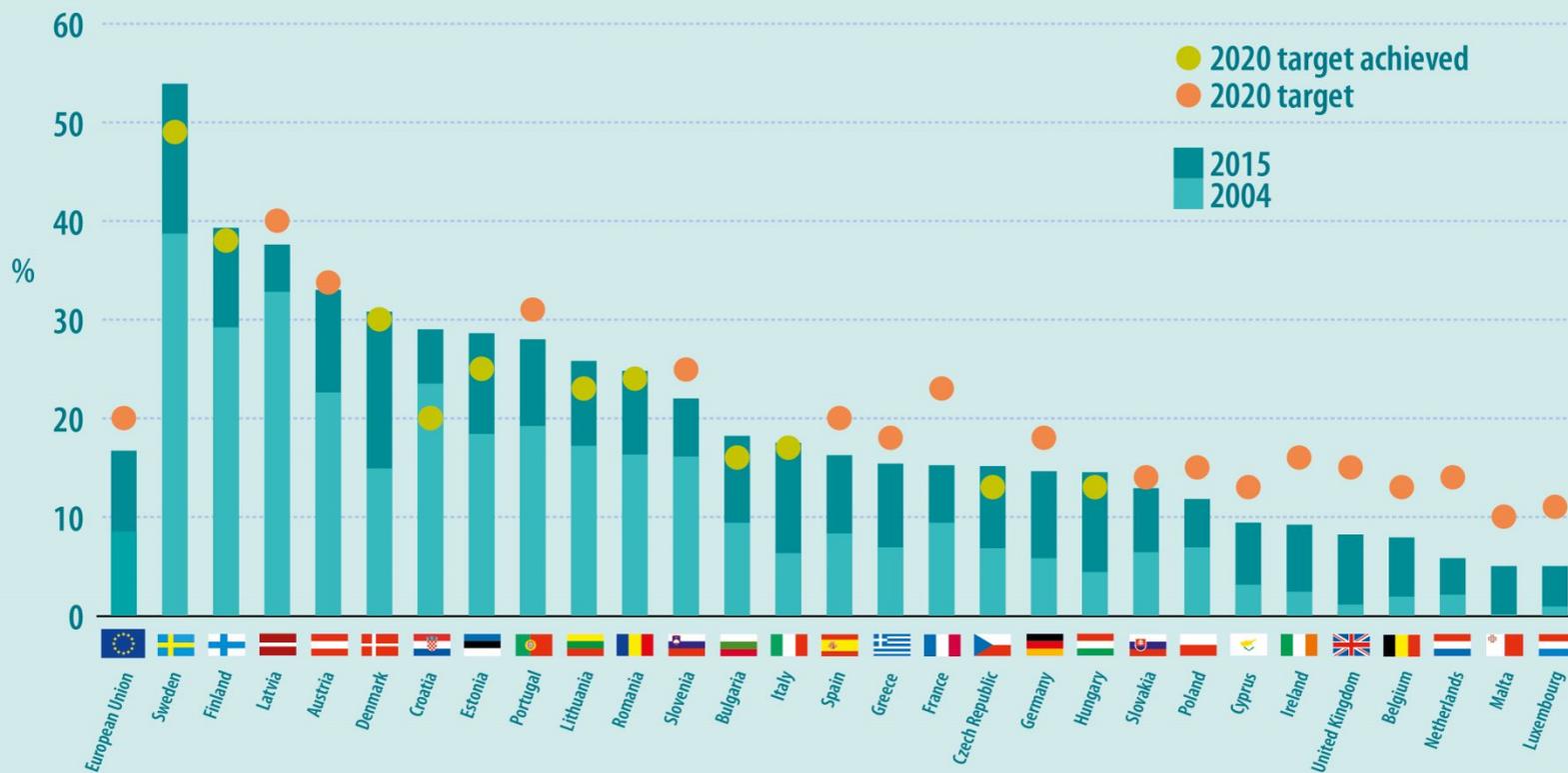
---

На долю ветровых электростанций приходится 0,3 %, а солнечных электростанций – 0,1 % установленной мощности (на 2019 г.). Правительством РФ поставлена цель до 2020 г. (затем срок был сдвинут на 2024 г.) за счет ВИЭ достичь 4,5% в общей выработке электроэнергии.

# Доля энергии от возобновляемых источников в 2004 и 2015 гг. (в % от валового потребления энергии)

## Share of energy from renewable sources in the EU Member States

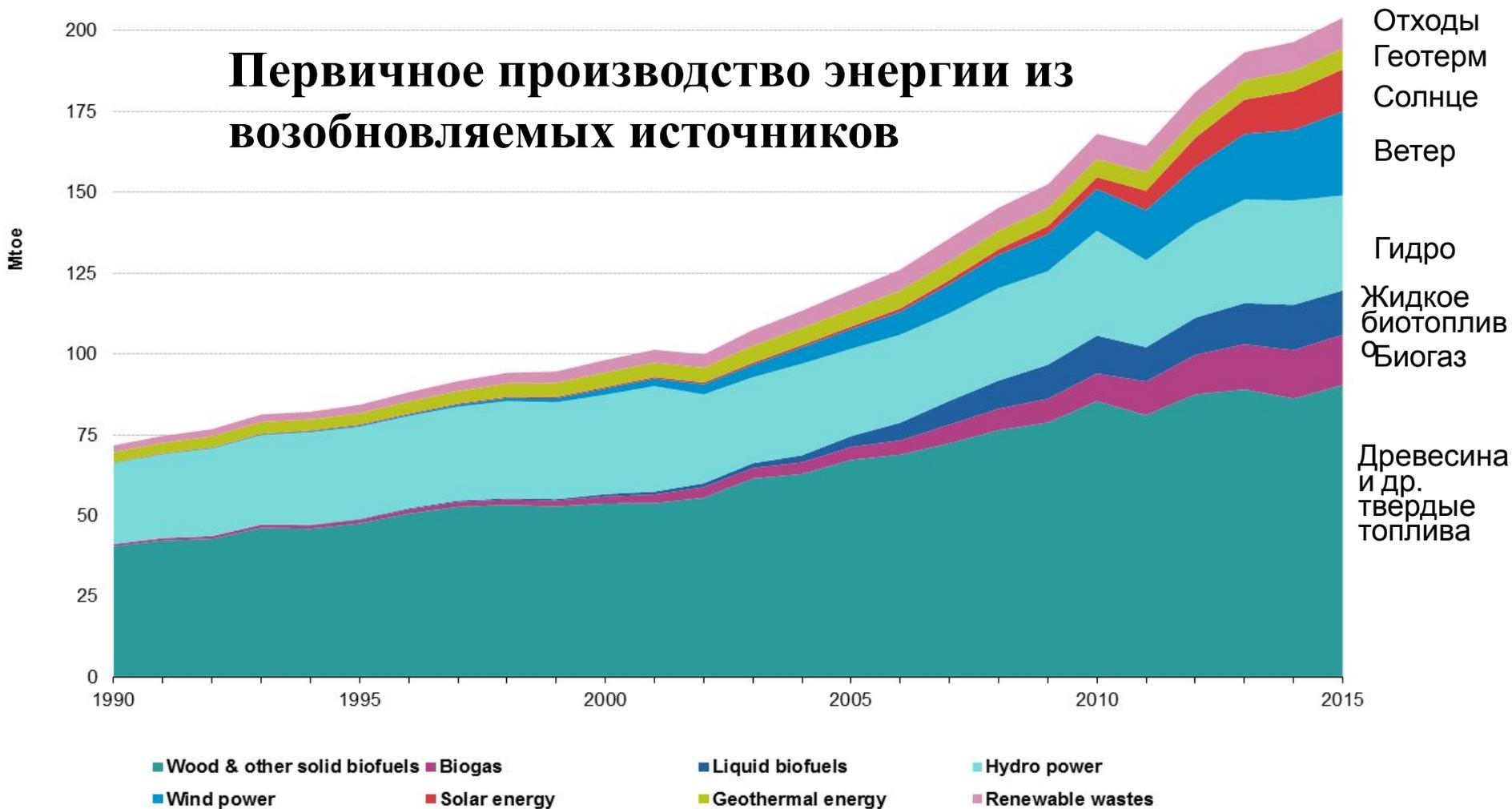
(in % of gross final energy consumption)



eurostat

С 2004г. по 2017 г. потребление энергии от возобновляемых источников  
выросло более чем в два раза.

# Первичное производство энергии из возобновляемых источников

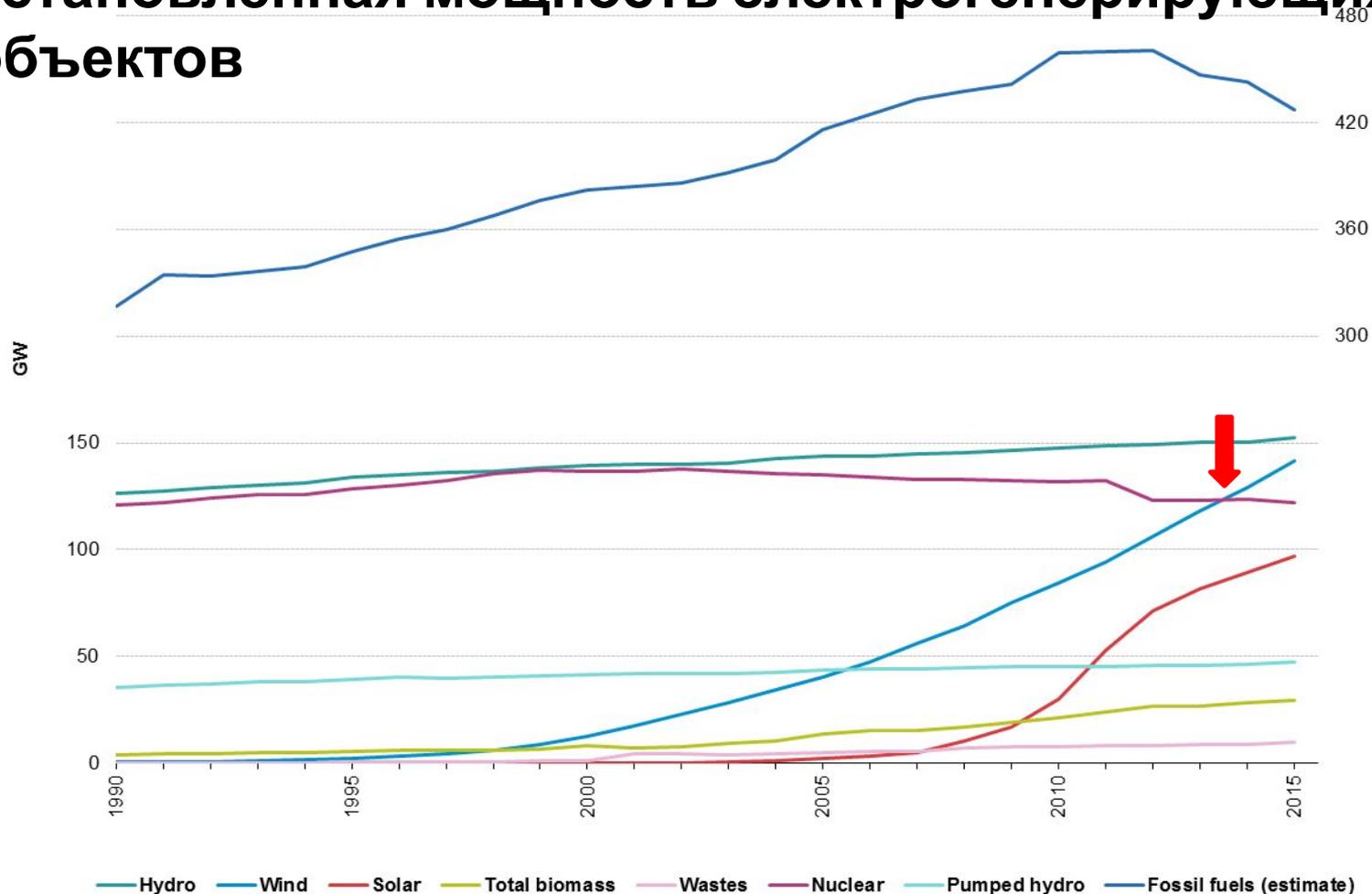


Наибольший вклад в производство электроэнергии вносят ветровые установки. Около 20% энергии на обогрев и охлаждение производится за счет возобновляемых источников.



<b>Использование биомассы</b>	<b>2010 г.</b>	<b>2012 г.</b>
Теплогенерация	<b>15%</b>	<b>19%</b>
Производство электроэнергии	<b>3.8%</b>	<b>4.5%</b>

# Установленная мощность электрогенерирующих объектов



В 2015 г. общая мощность электрогенерирующих установок на ВИЭ (без учета гидроаккумулирующих электростанций) составила около 430 ГВт, что примерно равно существующим мощностям по производству электроэнергии из ископаемого топлива.

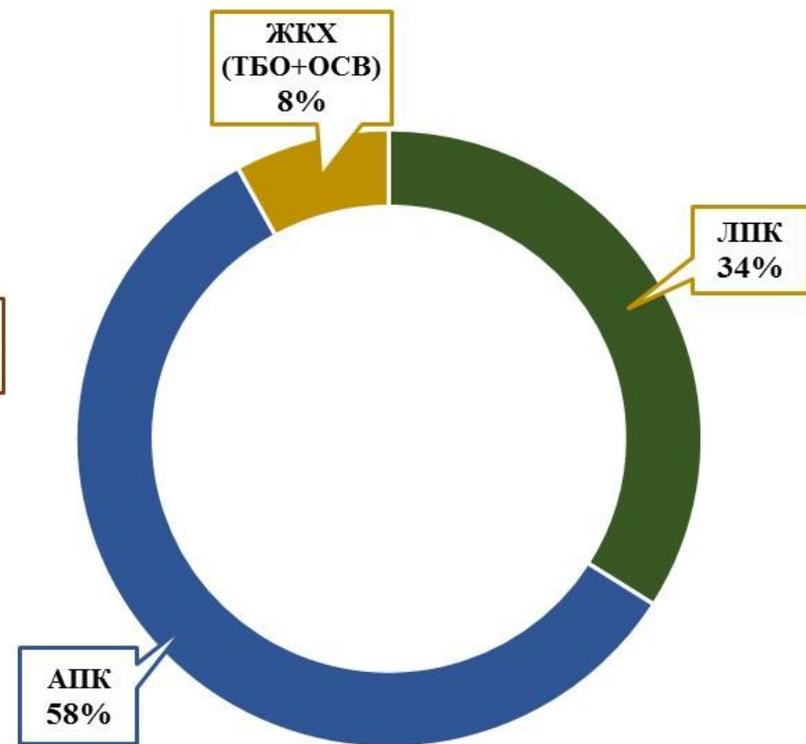
«**Биомасса** – это неископаемые, поддающиеся биологическому разложению органические материалы, обязанные своим происхождением растениям, животным и микроорганизмам. К биомассе также относятся продукты, сопутствующие продукты, остатки и отходы от сельскохозяйственного производства, лесной промышленности и связанных с ней производств, также как и неископаемая, поддающаяся биологическому разложению органическая часть индустриальных и муниципальных отходов. Понятие биомасса также включает газы и жидкости, выделяющиеся в результате распада неископаемых, поддающихся биологическому разложению органических материалов»\*

\*Рамочная Конвенция Организации Объединенных Наций по изменению климата (UNFCCC)

1992 г.

## страны Евросоюза

## Россия



**Виды биомассы, используемые в энергетических целях, и их доля в общем балансе энергопроизводства из биомассы в странах Евросоюза и в РФ**

# Методы конверсии биомассы

Биохимические технологии:

- анаэробное и аэробное сбраживание,
- ферментация,
- гидролиз.

Термохимические технологии:

- сжигание,
- пиролиз,
- газификация,
- ожижение.

## Возможности использования:

- первичное топливо;
- сырье для получения:
  - твердого топлива с улучшенными характеристиками (гранулированная и торрефицированная биомасса, биоуголь);
  - газообразного топлива: биогаз ( $\text{CH}_4 + \text{CO}_2$ ), генераторный газ ( $\text{CO} + \text{H}_2 + \text{CH}_4 + \text{CO}_2$ ), синтез-газ ( $\text{CO} + \text{H}_2$ );
  - жидкого топлива (этанол, метанол, биодизель).

## Достоинства:

- возобновляемый характер;
- распространенность и доступность;
- всесезонность;
- снижение антропогенной нагрузки на окружающую среду.

# Растительная биомасса

## Фотосинтез:



$\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_m$  – обобщенная формула для углеводов

Эффективность процесса фотосинтеза не превышает 8%

## Энергетическое использование:





Снижение антропогенной нагрузки на окружающую среду при использовании биомассы за счет снижения выбросов парниковых газов (углекислый газ, оксиды азота), окислов серы, тяжелых металлов.

# Объемы биомассы

В РФ сосредоточено около 47% мировых запасов торфа и 24 % древесины.

Регион	Страны СНГ	Европа	Азия	Африка	Сев. Америка	Лат. Америка	Австралия, Океания	$\Sigma$
Общие запасы древесины, млрд м <sup>3</sup>	86	15	34	60	60	90	5	350

Запасы торфа в России в пересчете на условное топливо составляют 68,3 млрд т.у.т.

Для сравнения запасы нефти - 31 млрд т.у.т.;

газ - 22 млрд т.у.т.

угля - 97 млрд т.у.т.

# Компоненты растительной биомассы

Низкомолекулярные соединения

Экстрактивные органические вещества

Зола

Высокомолекулярные органические соединения полимеры

Целлюлоза

Гемицеллюлозы

Лигнин

Содержание в древесине (%)

хвойных пород

35-52

22-30

25-30

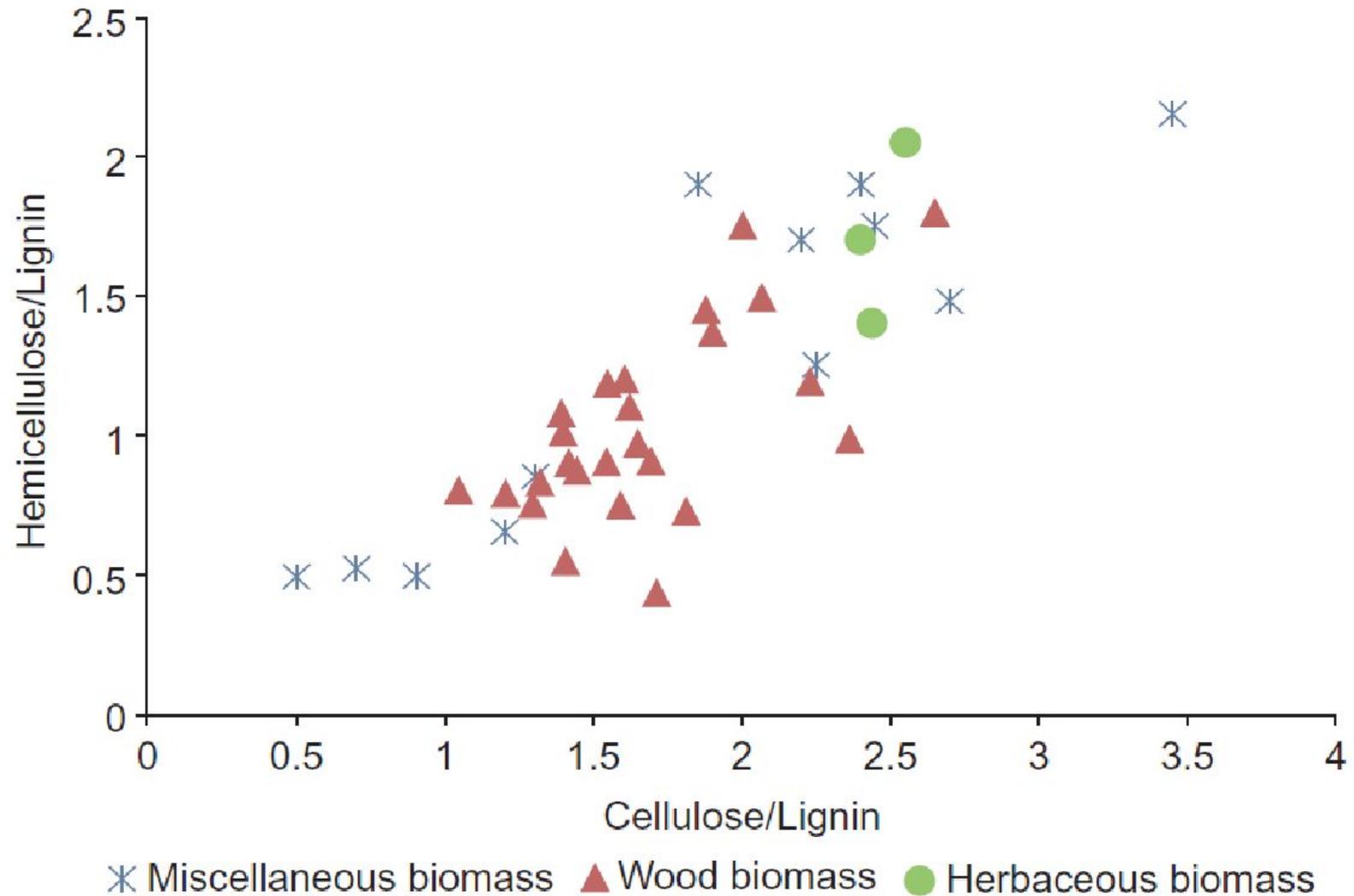
лиственных пород

31-50

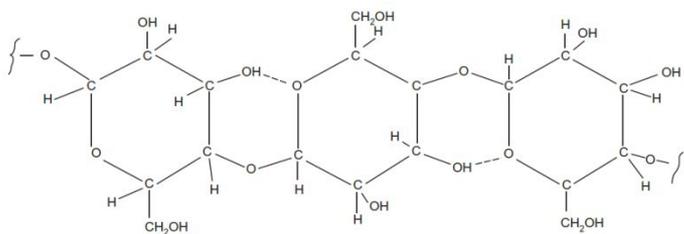
22-35

20-28

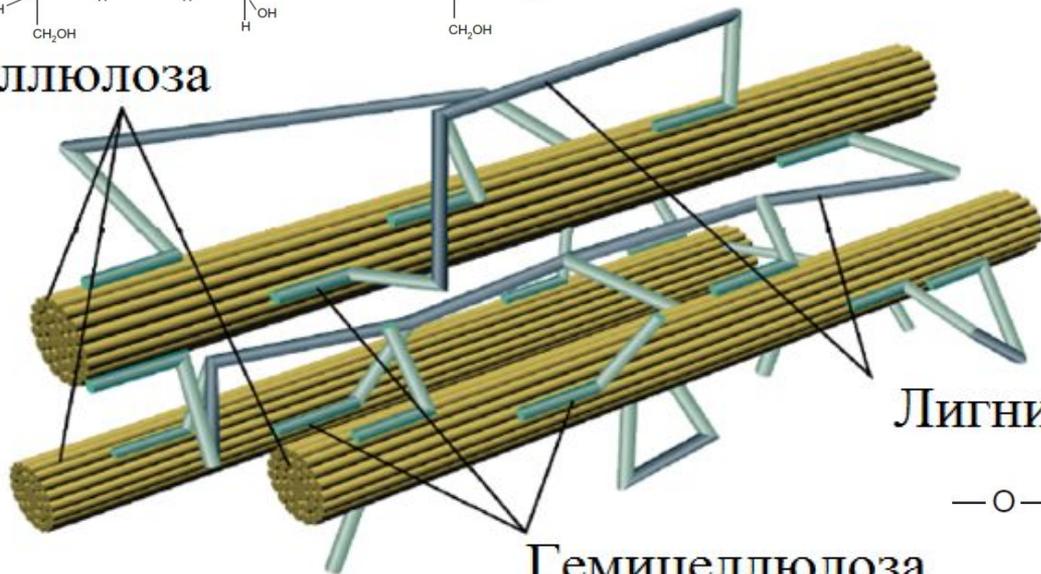
# Классификация по отношению основных составляющих



Jones, J.M. et al 2006. Towards biomass classification for energy applications. In: Bridgwater, A.V., Boocock, D.G.B. (Eds.), Science in Thermal and Chemical Biomass Conversion, vol. 1. CPL Press, pp. 331-339.

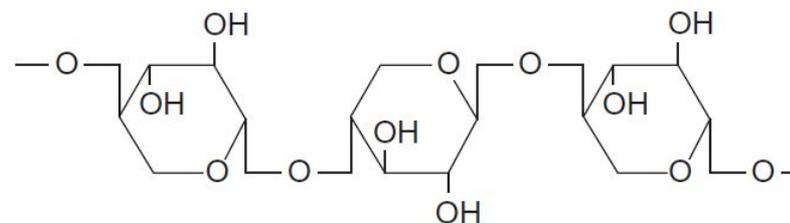
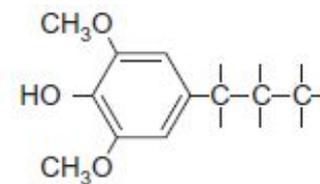
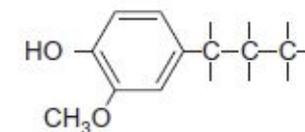
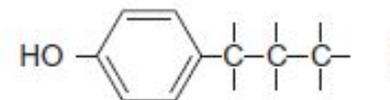


**Целлюлоза**



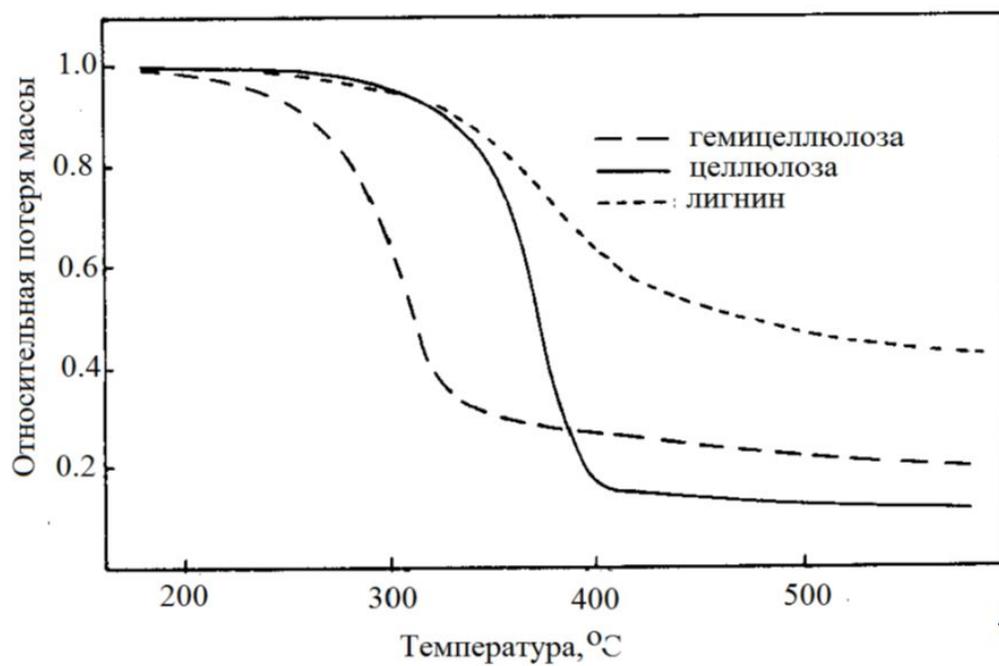
**Лигнин**

**Гемицеллюлоза**

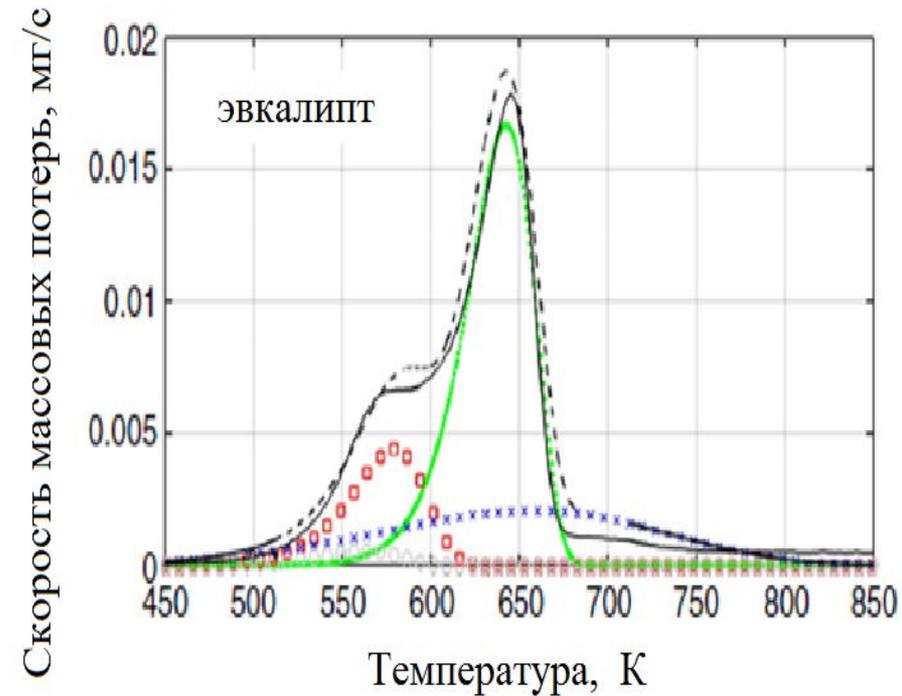
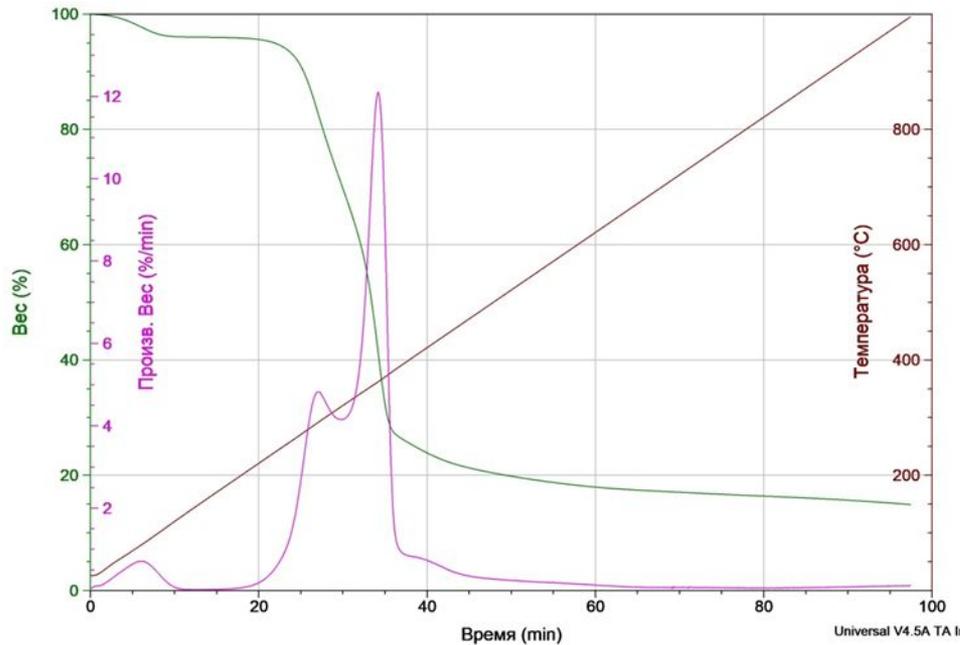


	Структура	Формула	Степень полимеризации	Температура термической деструкции	Тепловой эффект
<b>Целлюлоза</b>	Линейный полимер	$[C_6H_{10}O_5]_n$	5000-10000	270–370°C	эндо
<b>Гемицеллюлоза</b>	Линейный полимер	$[C_5H_8O_4]_n$	60-200	180–320°C	экзо
<b>Лигнин</b>	Аморфный полимер	$[C_9H_{10}O_3(OCH_3)_{3,0,9-1,7}]_n$		200–540°C	экзо

# Термогравиметрический (ТГА) и дифференциальный термогравиметрический (ДТГ) анализ

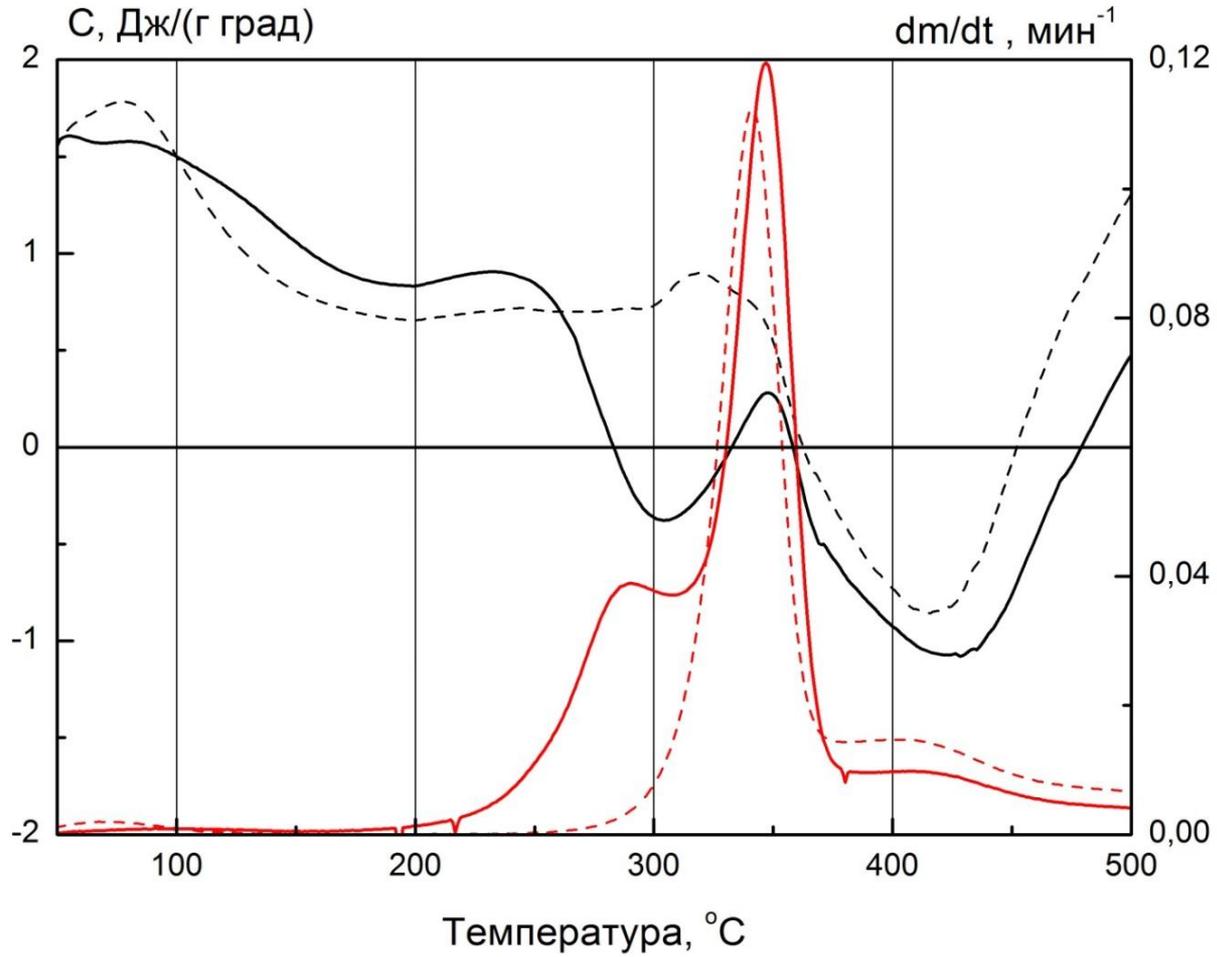


Koufopoulos C.A. et al. Can. J. Chem. Eng., 1989, v. 67. p. 75.



Rocha E.P.A. et al. J Therm Anal Calorim. 2017.

# Тепловые эффекты при пиролизе



Температурная зависимость эффективной теплоемкости образца древесины (черные кривые) и скорость термического распада (красные кривые): сплошные кривые – исходный образец, пунктирные кривые – торрефицированный образец ( $T_t = 270^\circ\text{C}$ , 60 мин)

# Свойства биомассы

Типичное значение для  
древесины, кг/м<sup>3</sup>

## Плотность:

-истинная  $\rho_{\text{ист}} = \frac{\text{полная масса}}{\text{объем твердой фазы}}$

1530

-кажущаяся  $\rho_{\text{к}} = \frac{\text{полная масса}}{\text{объем твердой фазы с учетом внутренних пор}}$  300-900

-насыпная  $\rho_{\text{н}} = \frac{\text{полная масса}}{\text{насыпной объем}}$

$$\rho_{\text{к}} = \rho_{\text{ист}} (1 - \rho_{\text{п}})$$

$$\rho_{\text{н}} = \rho_{\text{к}} (1 - \rho_{\text{ч}})$$

$\rho_{\text{п}}$  - пористость материала

$\rho_{\text{ч}}$  - пористость слоя

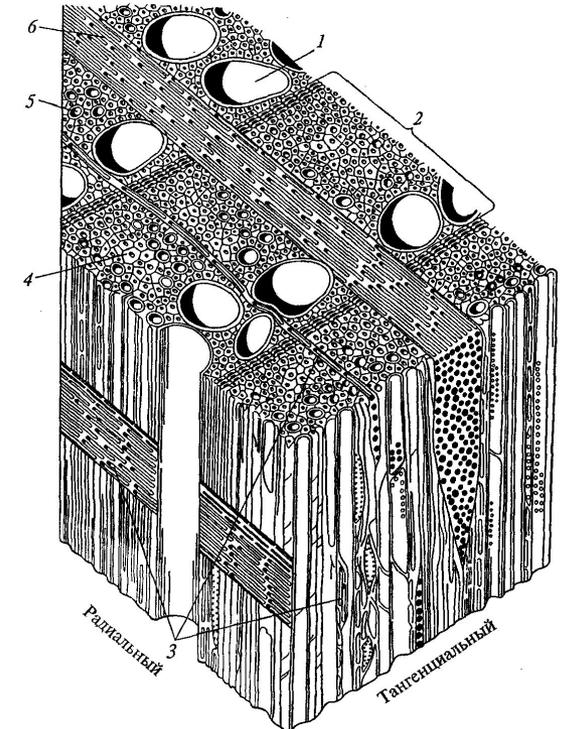


Схема макроскопического строения древесины

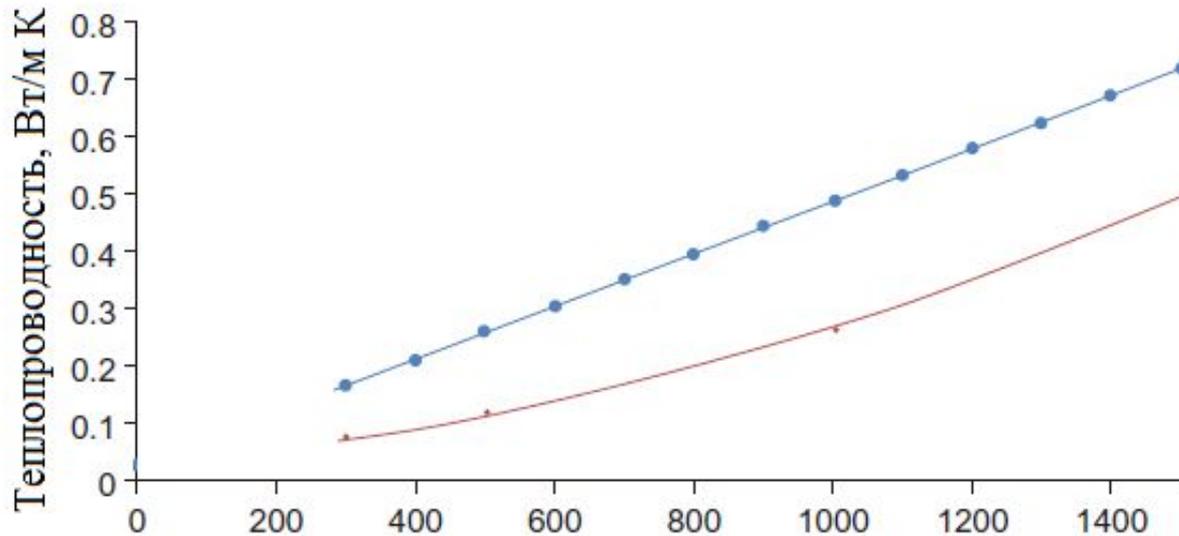
# Теплопроводность

$$\lambda_{\text{eff}} = G(x) \lambda_s + F(x) \lambda_w + H(x) [\lambda_g + \lambda_{\text{rad}}]$$

$G(x)$ ,  $F(x)$ ,  $H(x)$  – функции структуры и размера ячеек

$\lambda_s$ ,  $\lambda_g$ ,  $\lambda_w$ , – теплопроводность твердой, газообразной и жидкой фаз

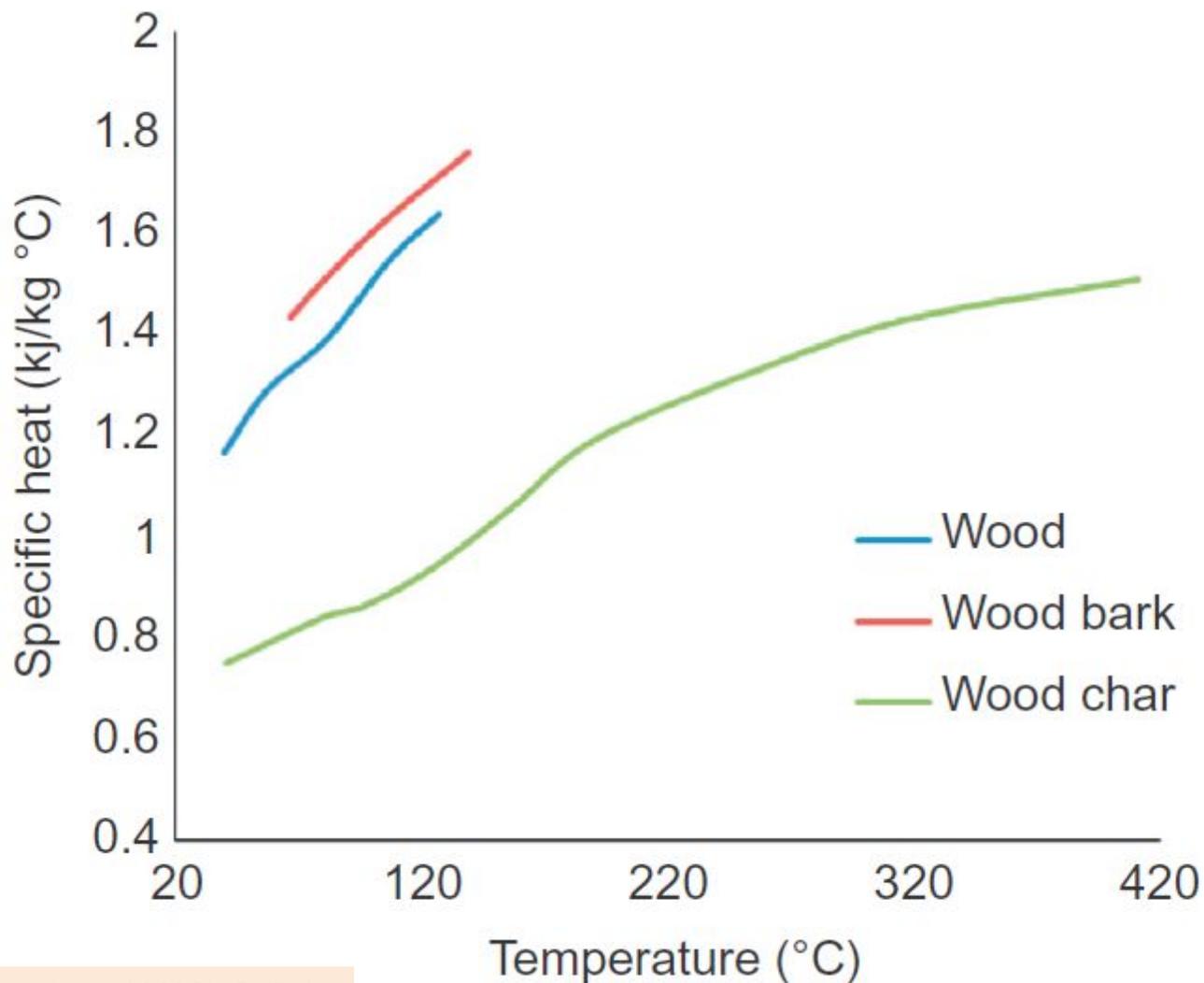
$\lambda_{\text{rad}}$  – теплопроводность за счет радиационного переноса



Для сравнения: (при 100°C)  
 $\lambda$  (Fe) = 92 Вт/м К  
 $\lambda$  (кирпич) = 0.4-0.9 Вт/м К

Плотность на сухое состояние, кг/м³  
—●— вдоль —●— поперек волокна

# Теплоемкость

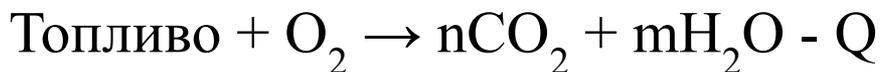


Для сравнения (при 100°C) С (Fe)  
= 0.48 кДж/кг град  
С (кирпич) = 0.7 – 1.2 кДж/кг град

P. Basu. Biomass Gasification, Pyrolysis, and  
Torrefaction. Practical Design and Theory.  
Second Edition. Elsevier. 2013.

## Теплота сгорания

$\Delta H = \sum$  энтальпии (теплоты) образования всех продуктов –  
 $\sum$  энтальпии (теплоты) образования всех реагентов



$$Q = n \Delta H (\text{CO}_2) + m \Delta H (\text{H}_2\text{O}) - \Delta H (\text{Топливо})$$

**Стандартная энтальпия образования (теплота образования)** - тепловой эффект реакции образования одного моля вещества из простых веществ, его составляющих, находящихся в устойчивых стандартных состояниях.

	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub>
$\Delta H$ при 25°C, кДж/моль	- 241.5	- 393.5	- 110.6	0

$$Q_H = Q_B - h_K (9 H + W)/100$$

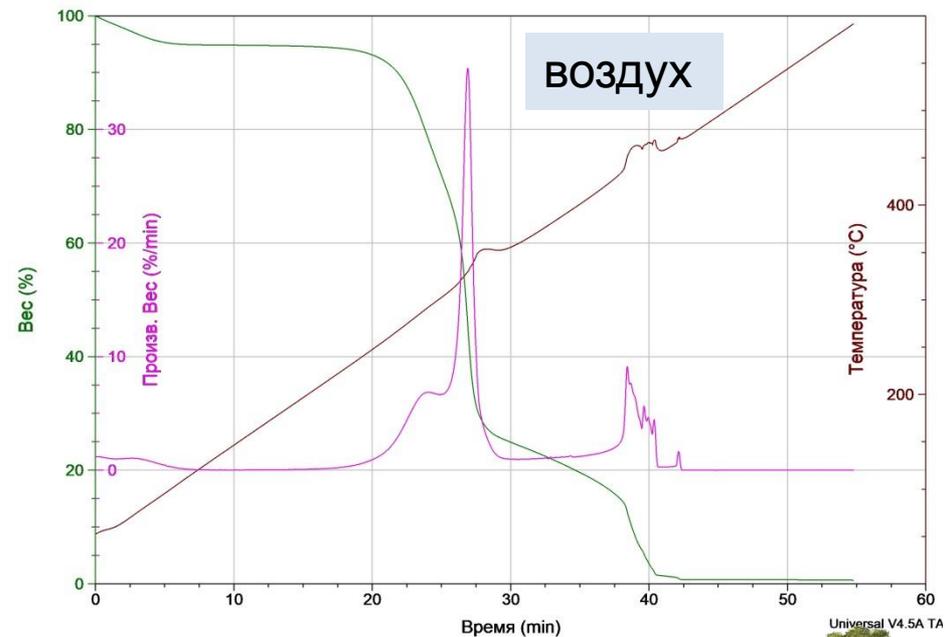
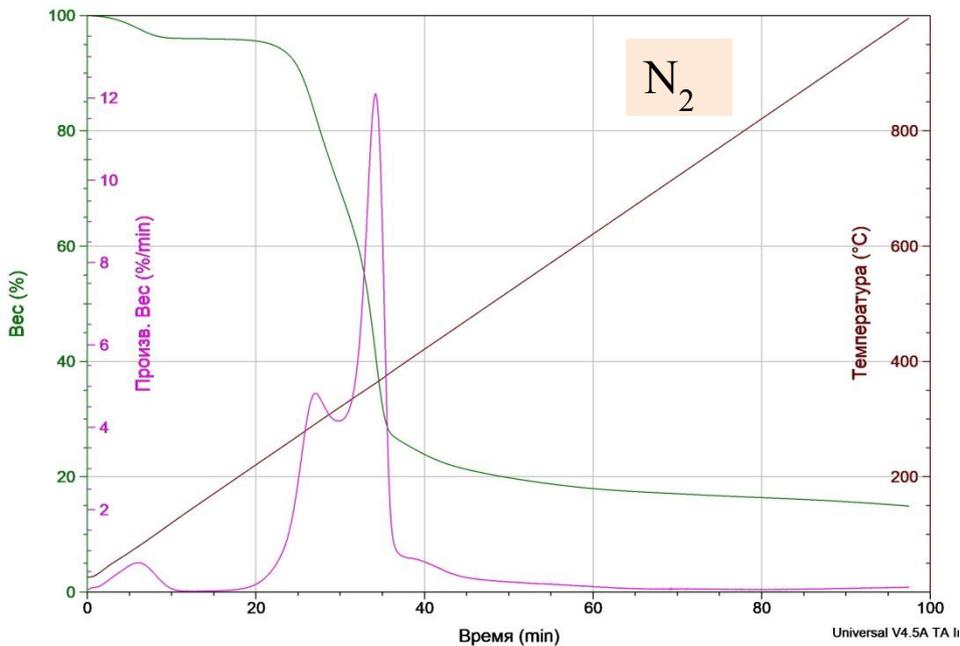
$h_K$  – скрытая теплота конденсации (испарения) =  $\sum$  (теплоты конденсации и теплоты охлаждения) = 2514 кДж/кг = 600 ккал/кг

H – содержание водорода в топливе (%)

W – влажность топлива (%)

# Технический анализ:

- влажность (W),
- зольность (A),
- содержание летучих продуктов (VP),
- содержание связанного углерода (FC).



$$VP + FC + A + W = 100\%$$



# Температура воспламенения

Топливо	Солома	Тополь	Эвкалипт	Уголь с высоким содержанием летучих	Уголь со средним содержанием летучих	Антрацит
Температура воспламенения, °С	220	235	285	670	795	930
Содержание летучих продуктов (daf), %	72	75	64	34.7	20.7	7.3

**Температура воспламенения** – температура, при которой скорость генерация тепла равна или превышает скорость тепловых потерь. Не является уникальным свойством топлива, поскольку зависит от ряда факторов – размер частиц топлива, свойства окружающей среды.

## Элементный анализ:

Обычно измеряется содержание  $C$ ,  $H$ ,  $N$ ,  $S$

Содержание  $O$  рассчитывается по остаточному принципу.

$$C + H + O + N + S + A + W = 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{Формула Менделеева } Q_B &= 81 C + 300 H + 26 (S - O) \quad (\text{ккал/кг}) \\ &339 C + 1256 H + 109 (S - O) \quad (\text{кДж/кг}) \end{aligned}$$

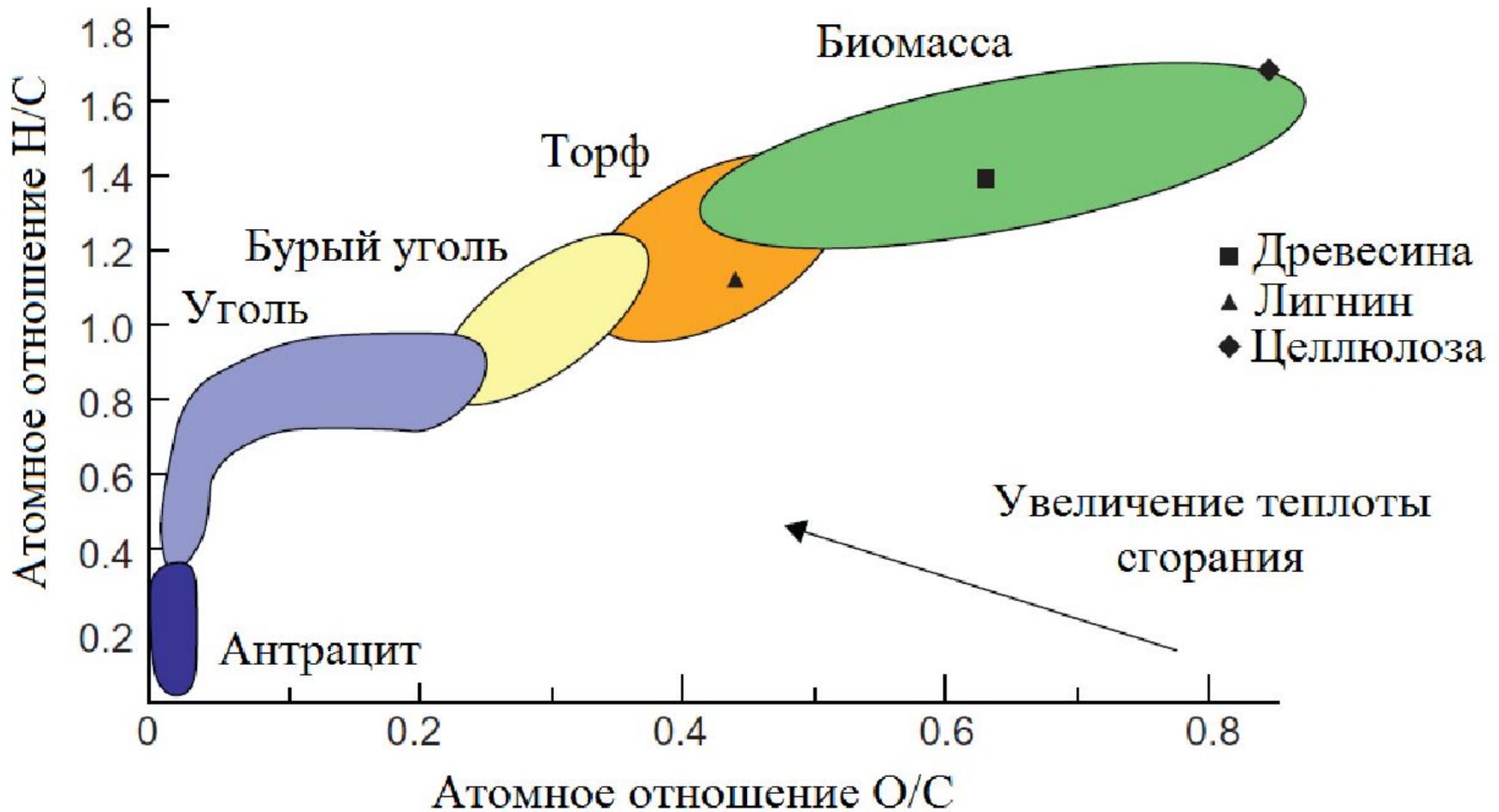
$$Q_B = 349.1C + 1178.3H + 100.5S - 103.4O - 15.1N - 21.1A \quad (\text{кДж/кг})$$

на сухое состояние при условии

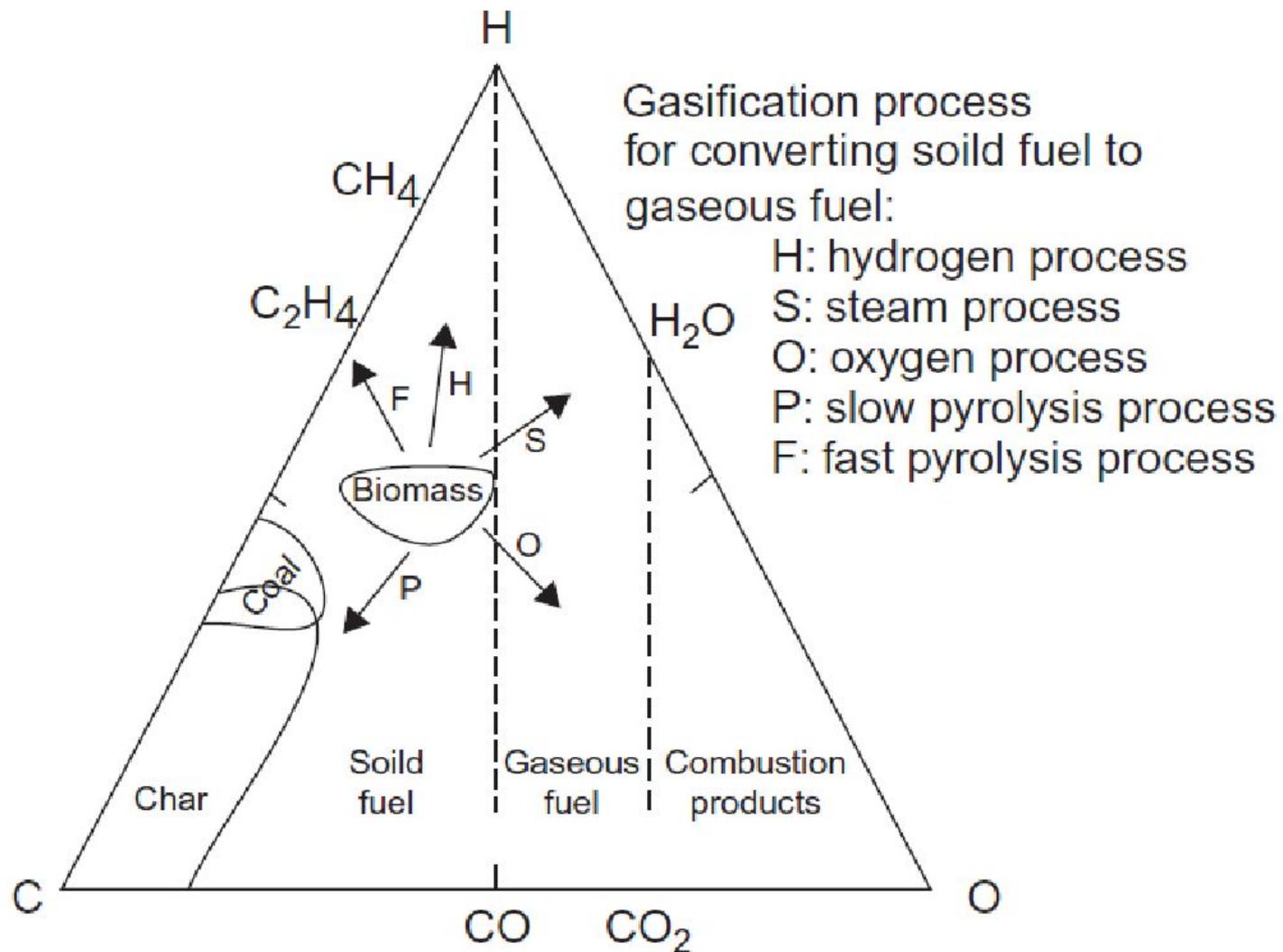
$$0 < C < 92\% ; 0.43 < H < 25\% ; 0 < O < 50\% ; 0 < N < 5.6\% ;$$

$$0 < A < 71\% ; 4745 < Q_B < 55345 \text{ кДж/кг}$$

Channiwala, S.A., Parikh, P.P. A unified correlation for estimating HHV of solid, liquid and gaseous fuels. Fuel. 2002. V. 81. P. 1051

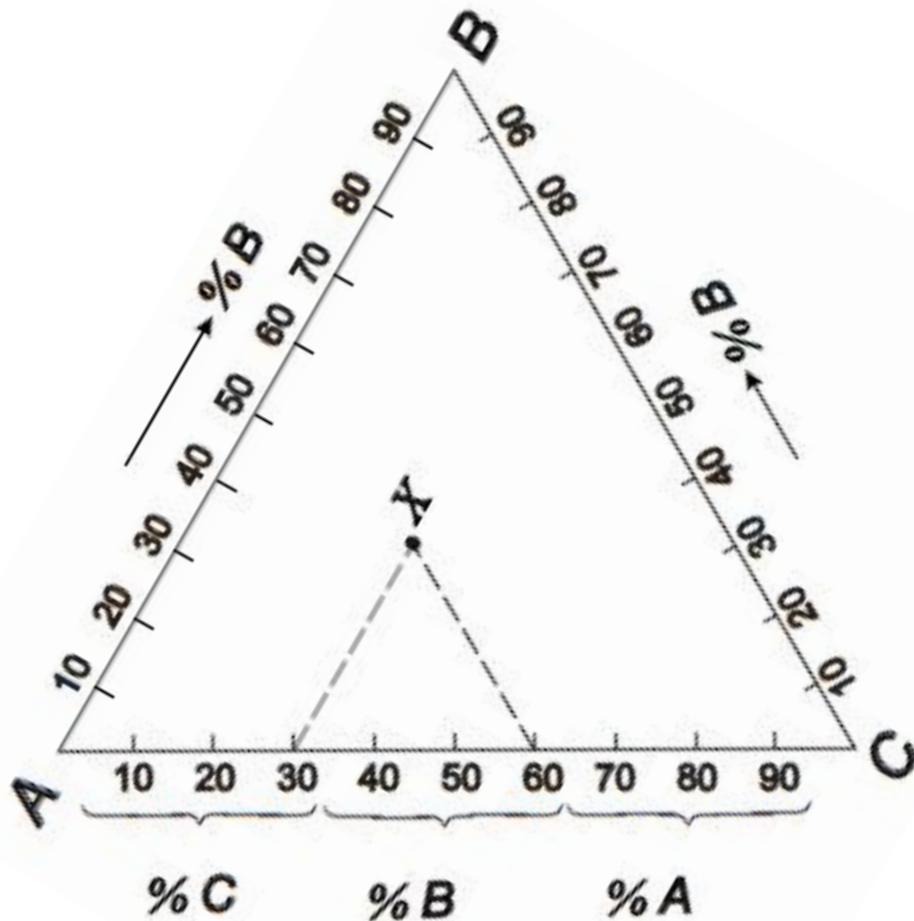


**Диаграмма Ван Кревелена**

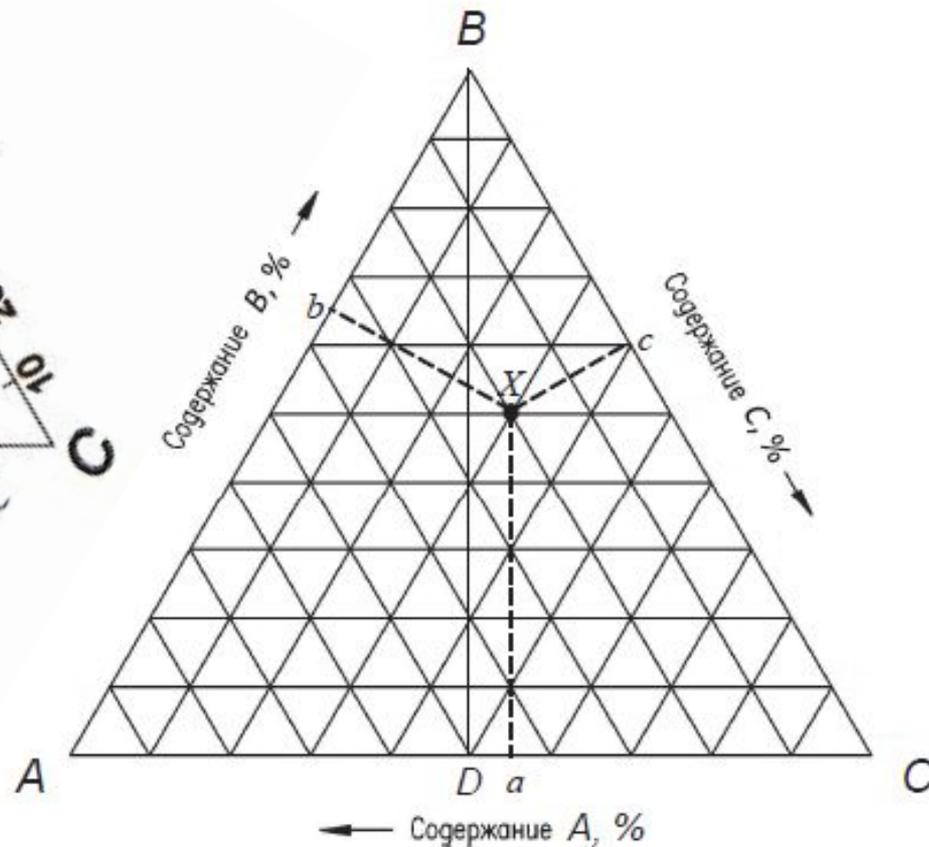


## Тройная диаграмма, иллюстрирующая процессы конверсии биомасс

# Определение состава тройных систем на концентрационном треугольнике



Способ Геллера



Способ перпендикуляров

## Способы представления характеристик топлив

- на рабочее (исходное ) состояние:

$$VP + FC + A + W = 100\%$$

$$C + H + O + N + S + A + W = 100\%$$

- на сухое состояние (dry):

$$F_{\text{dry}} = 100 F / (100 - W)$$

- на сухое беззольное состояние (daf):

$$F_{\text{daf}} = 100 F / (100 - A - W) = 100 F_{\text{dry}} / (100 - A_{\text{dry}})$$

## Способы представления влажности

$$W = 100 (M_0 - M_{\text{dry}}) / M_{\text{dry}}$$

$$W = 100 (M_0 - M_{\text{dry}}) / M_0$$

# Характеристики различных видов биомассы

Исходное сырье	Влажность, массовые %	Доля летучих, массовые % (на сухое беззольное состояние)	Зольность, массовые % (на сухое состояние)	Элементный состав, массовые % (на сухое беззольное состояние)					Высшая теплота сгорания, МДж/кг (на сухое беззольное состояние)	
	<i>W</i>	<i>VP</i>	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>H</i>	<i>N</i>	<i>O</i>	<i>S</i>		
Древесные пеллеты ДП	8.0	83.6	0.8	50.3	6.0	0.4	43.3	<0.05	20.6	19.8
Торфяные пеллеты ТП	8.0	64.1	3.3	55.7	6.9	1.7	35.7	<0.05	21.9	23.6
Пеллеты из соломы СП	6.0	79.4	6.8	47.8	6.2	0.6	45.4	<0.05	19.6	19.0
Пеллеты из лузги подсолнечника ЛПП	7.4	79.1	6.4	51.7	6.3		42.0		21.4	20.8
Пеллеты из ППМ	16	82.6	13.8	48.0	6.4	5.9	39.0	0.7	20.4	20.1
ОСВ	2.7	89.1	22.7	56.5	7.5	8.5	26.0	1.5	25.0	25.9

